

## **Aplicação da simulação discreta para redução do tempo total das trocas de gaiolas e navalhas em um laminador de perfis de uma siderúrgica**

**SOARES, Ednasser<sup>1\*</sup>; GOMES, Marcelino Lanes<sup>2</sup>; MEZA, Edwin Benito Mitac<sup>1</sup>;  
VIANNA, Dalessandro Soares<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia, Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Fluminense;

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Engenharia de Produção, Universidade Federal Fluminense;

\* Autor de correspondência. E-mail: ednasser10@gmail.com

### **RESUMO**

Atualmente, as empresas siderúrgicas para manterem-se no mercado, dependem de flexibilidade e rapidez no processo de produtivo de forma a possibilitar o pronto atendimento das ordens de produção, garantido o nível de satisfação dos clientes. A falta de flexibilidade na produção, impacta em toda a cadeia produtiva, causando desequilíbrio financeiro em função da perda de mercado. Uma alternativa que visa solucionar essa questão, seria a redução na forma sistêmica e continuada do tempo das trocas das gaiolas e navalhas. Isso daria as empresas maior flexibilidade e competitividade no mercado. O presente trabalho estudou e analisou o processo citado em uma siderúrgica através do desenvolvimento de um projeto de simulação discreta visando a melhoria do processo. Para a construção do modelo computacional foi utilizado o software FLEXSIM. Foram propostos vários cenários de melhoria, as quais apresentaram uma redução significativa no tempo de processo tornando-o um sistema com maior eficiência.

**Palavras-chave:** Simulação de eventos discretos, Trocas das gaiolas, Siderúrgica.

## **Application of discrete simulation to reduce the total time of the exchanges stands and cutters in a section mill, of a steel plant**

### **ABSTRACT**

Currently, the steel mill companies to remain in the market, depend on flexibility and speed in the production process in order to allow the prompt fulfillment of production orders, guaranteeing the level of customer satisfaction. The lack of flexibility in production, impacts on the entire production chain, causing financial imbalance due to the loss of market. An alternative that aims to solve this question would be the reduction in the systemic and continuous form of the time of the exchanges of the stands and cutters. This would give companies greater flexibility and competitiveness in the market. The present work studied and analyzed the process mentioned in a steel mill through the development of a discrete simulation project aimed at improving the process. FLEXSIM software was used to construct the computational model. Several improvement scenarios were proposed, which presented a significant reduction in process time, making it a more efficient system.

**Keywords:** Discrete event simulation; Mill stand exchange; Steel plant.

## 1 Introdução

Atualmente a indústria siderúrgica brasileira, tem buscado se recuperar das constantes perdas que se acumulam ano a ano, devido principalmente ao cenário atual da economia brasileira que vem de uma longa crise. Neste cenário, as empresas procuram o equilíbrio financeiro para que posteriormente possam aumentar a sua rentabilidade e desta forma ficar mais atrativa para o mercado. Assim, para esse propósito, as empresas tentam exaustivamente ações que possam resultar nas reduções dos custos dos produtos, porém as dificuldades para alcançar estes objetivos, ficam, cada vez mais difícil, pois tais oportunidades para os cortes nos custos, no contexto atual, tornam-se escassas.

Neste cenário, as empresas siderúrgicas, ao decorrer do tempo, constataram que os custos dos produtos processados é sem dúvida, um dos fatores de maior impacto, na questão da sobrevivência das organizações, considerando os níveis de competitividade que permeia no mundo. A estratégia adotada anteriormente pelas siderúrgicas de se fazer sempre grandes lotes de fabricações, para reduzirem os números de trocas de produtos, tem-se mostrado uma estratégia inviável, pois os custos provocados pelos estoques elevados afetam significativamente os resultados financeiros das empresas.

Esta realidade, pode ser corroborado na empresa siderúrgica que é objeto deste estudo, a qual iniciou suas operações em 1999, com a laminação de barras chatas. Atualmente a laminação possui um grande número de famílias distintas de produtos: perfis redondos; perfis U's de perfis I's, perfil T's para elevadores, cantoneiras, barras chatas comerciais; barras chatas para feixe de mola, todos sendo fabricados em diversas dimensões.

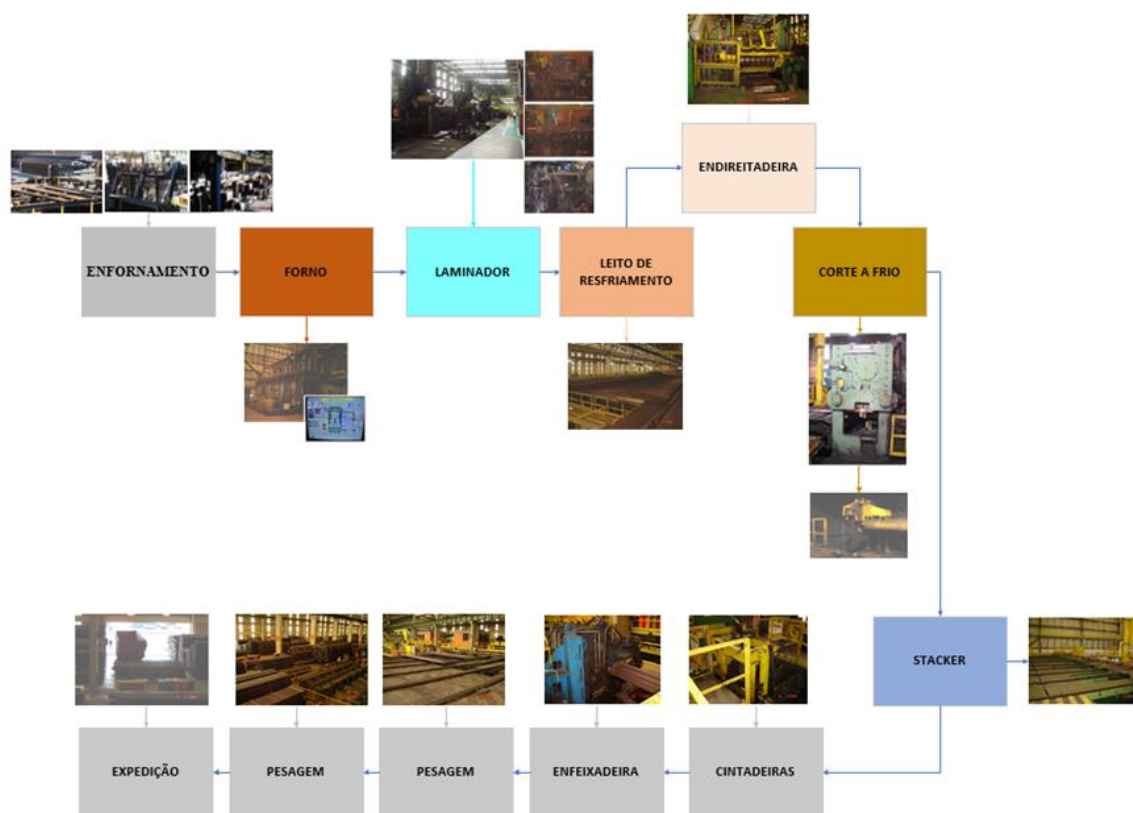
Assim, pressionados a incrementar o portfólio para se tornarem versáteis, mas sem poderem elevar os estoques de produtos, uma alternativa que contribuiria para resolver essa questão para a referida empresa bem como qualquer empresa siderúrgica produtora de laminados, seria reduzir de forma sistêmica e continuada os tempos de trocas de gaiolas. Isso daria as empresas mais flexibilidade e competitividade no mercado, visto que em tempos de crise é um diferencial considerável.

Neste contexto, a simulação de eventos discretos possibilita a análise e proporciona a elaboração de ações que contribuam para a redução do tempo das trocas de gaiolas e navalhas do laminador, com a possibilidade da elaboração e a análise de inúmeros cenários distintos.

## 2 Definições do Processo

O processo de laminação é apresentado na Figura 1, de forma sintetizada, inicia-se no enformamento com o recebimento dos tarugos do lingotamento contínuo que provém da aciaria, o mesmo é pesado e medido através de medidores a lasers, instalados na balança do caminho de rolos. Após ser pesado, o mesmo é encaminhado para forno de reaquecimento, com a capacidade de 109 tarugos e com sete zonas de aquecimento, sendo que na última zona, o tarugo no forno atinge a temperatura de 1140° C, na denominada zona de encharque e tornar-se o tarugo suficientemente plástico para o processamento subsequente, que é a sua conformação nas gaiolas do laminador.

Figura 1 – Fluxograma de Processo de Laminação



Fonte: Empresa siderúrgica, objeto deste estudo.

O laminador dispõem de 15 gaiolas que são divididas da seguinte forma: desbaste, trem médio e acabador, sendo que o produto a ser laminado ao final da sua conformação é encaminhado para tesoura, onde é cortado em um comprimento 32 metros e logo o mesmo encaminhado para o leito de resfriamento, onde estes perfis laminados são resfriados forçadamente com uso de jatos d'água até que atinja uma temperatura em média de 55°C. Posteriormente estas barras são transferidas para endireitadeira, para realizarem o respectivo

desempenho, porém para cada tipo específico de produto existe a tolerância de empeno aceitável e específica. Uma vez a barra endireitada, a mesma é transferida uma a uma, até formar um lote de barras. Este lote é transferido para o corte a frio onde o conjunto de barras é cortado no comprimento específico, que pode ser dependendo do pedido, pode ser cortado em 4, 6, 8 ou 12 metros. Assim que o lote de barras é cortado, o mesmo é deslocado para área de transferência do stacker, onde os lotes são empilhados em camadas, até que forme o feixe padrão do produto. O peso definido em cada produto é encaminhado para as cintadeiras na qual o feixe é cintado em posições definidas. Logo o feixe cintado é direcionado para enfeixadeira, para que realize as amarras de reforço e suportar o transporte tanto vertical ou horizontal. Uma vez realizado as amarras no feixe, o mesmo é conduzido através no caminho de rolos para pesagem, onde é pesado, etiquetado e conduzido através do carro transferidor de feixe, para a zona de retirada, para que a ponte rolante possa içá-lo e transportá-lo para estoque no setor logístico e posteriormente conforme a demanda ser expedito para cliente.

### **3 Revisão Bibliográfica**

#### **3.1 Teoria da Filas**

A Teoria de Filas permite mensurar medidas de desempenho de um sistema a partir de propriedades mensuráveis das filas que compõem o sistema, permitindo o dimensionamento de um determinado sistema segundo a demanda dos seus clientes, de modo a amenizar desperdícios ou o efeito de gargalos, com aplicabilidade recorrente no fluxo de tráfego, escalonamento, serviços de atendimento entre outros. Sendo também utilizada com frequência, para resolução de problemas que envolvem tempo de espera, ou seja, em um determinado sistema clientes chegam, podem esperar para serem atendidos, recebem o serviço e depois se retiram do sistema (ROMERO, et. al. 2010).

Segundo Krajewski (2009), a fila é ocasionada em função de um desequilíbrio temporário entre o nível de demanda de um determinado sistema e a capacidade do sistema em atender essa demanda.

#### **3.2 Simulação**

O cerne da modelagem de simulação é a descrição de objetos da vida real como um conjunto de entidades abstratas, a ligação entre estas entidades e um conjunto de mapeamentos que dão uma interpretação real às entidades abstratas. A simulação consiste na experiência numérica com o modelos lógicos-matemáticos, com o propósito de determinar parâmetros

relativos aos desempenhos de sistemas representados por estes modelos (Garcia e Oliveira, 2005, p. 2213).

Em suma, a simulação computacional é uma ferramenta robusta no estudo de processos e sistemas complexos. Tornando possível a análise e a avaliação de situações que não seriam possíveis na vida real em função circunstância. Em um mundo em crescente competição, tem se tornado uma metodologia indispensável de resolução dos problemas para os tomadores de decisão nas mais diversas áreas (SHANNON, 1998).

É importante ressaltar que, a simulação não substitui o trabalho de análise humana, mas sim é uma ferramenta poderosa, capaz de fornecer resultados para uma análise mais elaborada a respeito da dinâmica do sistema. Desta maneira, a simulação permite uma interpretação mais profunda e abrangente do sistema estudado (DUARTE, 2003).

Segundo PEGDEN, SHANNON, SADOWSKI (1995), SALIBY (1989) e FREITAS FILHO (2001) é possível descrever algumas vantagens que tornam a simulação uma ferramenta tão utilizada, sendo estes:

- a) Modelos mais realistas - a simulação permite uma maior liberdade na construção do modelo, não obrigando a enquadrar um problema a um determinado molde para que se possa obter uma solução, como ocorre, por exemplo, no caso da programação linear.
- b) Processo e modelagem evolutivos - começando com um modelo relativamente simples, pode-se aos poucos ir identificando de maneira mais clara as peculiaridades do problema, e em função disso ir aperfeiçoando o modelo.
- c) Facilidade de comunicação - um modelo de simulação é, em geral, muito mais fácil de ser compreendido do que um conjunto de complicadas equações matemáticas.
- d) Sistemas complexos - a simulação torna possível o estudo e experimento de sistema com interações internas complexas tais como uma firma, uma indústria, a economia ou um subsistema componente de um desses.
- e) Facilidade de testar regras de operação - a simulação pode testar novas políticas e regras de decisão para operação de um sistema, antes de correr o risco de implementá-las.
- f) Introdução de novos elementos - quando novos elementos são introduzidos no sistema, a simulação pode ser utilizada para antecipar os gargalos e outros problemas que possam surgir em seu comportamento.

Cabe ressaltar que, conforme Chwif & Medina (2015) um estudo de simulação que retrate a realidade de forma nítida deve seguir três grandes etapas: Formulação do modelo ou concepção, Implementação do modelo computacional e Análise dos resultados.

#### 4 Descrição do Problema

O laminador de perfis tem uma carteira de produtos muito diversificados, para atender o mercado interno e externo. Estes produtos serão destacados com suas dimensões conforme os seguintes perfis : Redondo 1 7/16" até 4 1/16"; Viga t 70, 82 e 89; Chato 40 x 6 mm até 152 x 25,4 mm; Cantoneiras 60 x 4 mm até 127x12,7 mm; Viga U 3" , 4" , e 6"; Viga I 3" , 4" , 5" e 6" , Pel U 3" e 4"; Pel I 3" e 4".

Para atender a produção com a flexibilidade necessária e a diversidade de produtos apresentados acima, necessita de versatilidade, precisão e velocidade nas operações que compõe a troca de gaiolas e navalhas por produtos e por bitolas. Segundo (MARCOUSÉ; SURRIDGE; GILLESPIE, 2013) é necessário que as empresas tenham a capacidade de alterar o volume de produção de maneira relativamente fácil para atender, com eficácia, aos inesperados aumentos e diminuições de demanda, dando a sensação para o mercado de que a empresa oferece produtos personalizados, que satisfazem as necessidades do consumidor e ainda mantêm o benefício da produção em grande escala.

A Tabela 1 contém as informações referentes aos tempos totais das trocas de gaiolas e navalhas dos últimos doze meses, considerando os tempos por produtos e por bitolas. Vale ressaltar que os tempos total das trocas das gaiolas, totaliza 398 horas com 541 eventos de trocas das gaiolas e navalhas por produto, tendo uma média de tempo, por evento, de 45 minutos, sendo que a planilha apresentada considera os dois tipos por produto e por bitola.

Tabela 1 – Acompanhamento do Tempo Total das Trocas das Gaiolas e Navalhas (Produto e Bitola)

Meses	Tempo Total das Trocas	Núm. Trocas	Tempo Médio Trocas
1	39:41:43	67	0:35:33
2	29:03:56	49	0:35:35
3	44:40:21	66	0:40:37
4	29:42:11	37	0:48:10
5	35:36:05	48	0:44:30
6	31:53:18	44	0:43:29
7	28:56:52	34	0:51:05
8	22:09:13	28	0:47:28
9	42:59:43	44	0:58:38
10	27:27:17	38	0:43:21
11	37:13:11	49	0:45:35
12	29:14:18	37	0:47:25
<b>Total</b>	<b>398:38:08</b>	<b>541</b>	<b>0:45:07</b>

Fonte: Empresa siderúrgica, objeto deste estudo.

Já a Tabela 2 apresenta o desdobramento por tipo, tendo 449 eventos referentes as trocas das gaiolas por bitola e 92 eventos referentes as trocas das gaiolas por produtos, vale ressaltar que os eventos de trocas de gaiola e navalhas por produtos apresentam o tempo médio por evento de 2 horas e 26 minutos, esta condição se dá em consequência do número de operações a serem realizadas para este tipo de atividade em questão, vale ressaltar que para este tipo de operações os recursos são escassos para realização destas atividades, além da inexistência dos dispositivos ou condições que poderiam acelerar a execução das atividades relacionadas as trocas de gaiolas e navalhas e contribuir para redução dos tempos totais.

Tabela 2 – Estratificação do Tipo de Troca de Gaiolas

Descrição	Tempo Total Troca de Gaiolas Anualizado	Número de Eventos	Tempo Médio Troca de Gaiolas por Eventos (HH:MM)
<b>Trocas de Gaiolas por Bitolas</b>	184:09	449	0:24
<b>Trocas de Gaiolas por Produtos</b>	214:29	92	2:26

Fonte: Empresa siderúrgica, objeto deste estudo

Contudo os números apresentados impactam no cenário que é retratado na Tabela 3, o laminador no período observado apresenta um percentual de indisponibilidade de 47,34%, sendo este um número bastante expressivo, obviamente significa que o laminador opera realmente um pouco mais da cinquenta por cento do seu tempo útil programado, esta condição resulta em custos onerosos, sobretudo nos produtos fabricados, ademais há impacta na perda de competitividade de mercado tanto local e global.

Tabela 3 – Média do Percentual de Indisponibilidade do Laminador

Meses	Tempo Total Programado	Tempo Útil produção	Disponibilidade
<b>1</b>	621:08:28	311:01:41	50,07%
<b>2</b>	662:33:15	330:03:13	49,82%
<b>3</b>	709:58:30	367:43:04	51,79%
<b>4</b>	528:37:13	289:59:38	54,86%
<b>5</b>	601:19:31	306:07:51	50,91%
<b>6</b>	603:45:55	360:15:03	59,67%
<b>7</b>	579:59:59	318:37:36	54,94%
<b>8</b>	606:33:09	320:37:02	52,86%
<b>9</b>	609:05:37	310:35:20	50,99%
<b>10</b>	579:38:05	304:01:42	52,45%
<b>11</b>	637:04:57	339:32:20	53,30%
<b>12</b>	642:20:08	322:41:52	50,24%
<b>% Médio Anual de Indisponibilidade</b>			<b>47,34%</b>

Fonte: Empresa siderúrgica, objeto deste estudo.



Os números apresentados demonstram que os tempos gastos para as trocas das gaiolas e navalhas têm um impacto de 11,49% sobre o percentual médio de indisponibilidade, que representa uma oportunidade de ganho que deve ser explorada.

Os tempos apresentados em especial das trocas das gaiolas e navalhas por produto, tem um impacto direto na produtividade. O percentual de indisponibilidade apresentado, tem uma influência financeira negativa e significativa para empresa, quantificado supera os cinco milhões reais de perdas anuais somente em decorrência das trocas por produto.

O objeto de interesse, se dá no laminador, onde o sistema a ser simulado é uma etapa central do processo produtivo da laminação. A simulação possibilitará se aprofundar na análise do processo de troca das gaiolas e navalhas e todas suas particularidades.

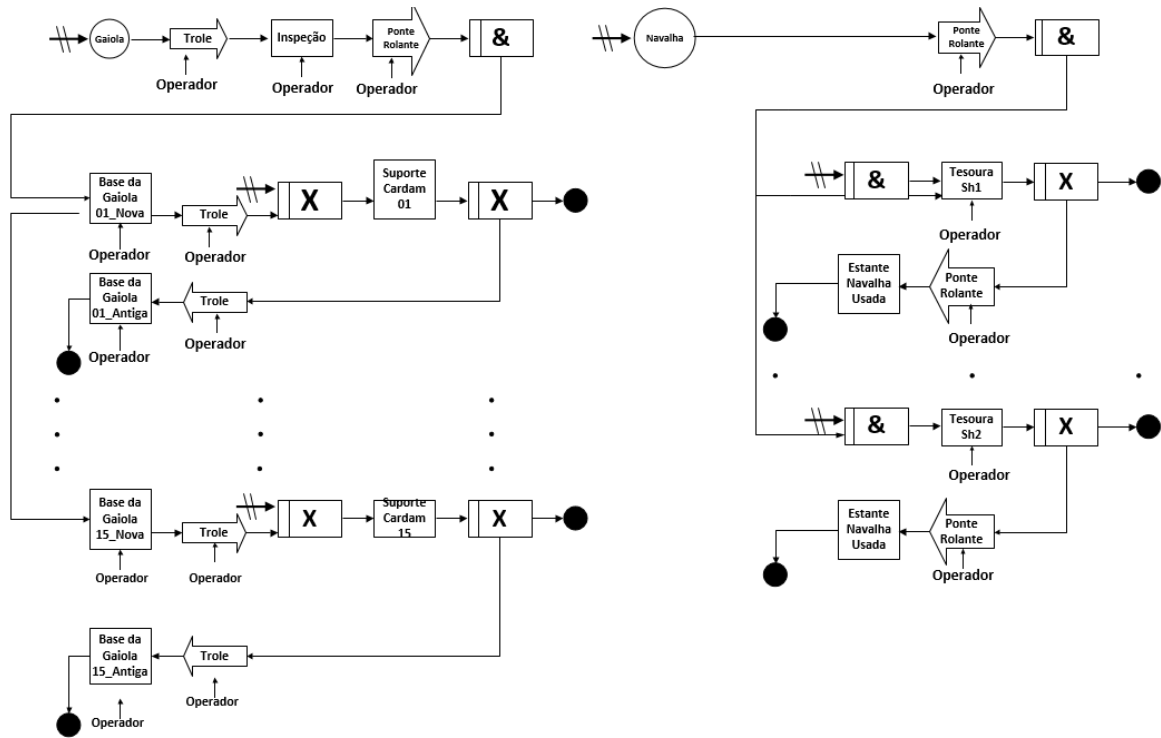
## **5 Construção do Modelo de Simulação para o Problema**

A Figura 2 apresenta o modelo conceitual (IDEF-SIM) que representa o processo das trocas das gaiolas e navalhas no laminador, onde existe duas entidades, sendo que a primeira, refere-se as gaiolas, que adentram no sistema através do trole elétrico, onde a mesma é transferida da área da montagem para a área do laminador, totalizando o traslado de 15 gaiolas. Logo as gaiolas são direcionadas para o posto de inspeção, na qual o operador realiza as inspeções uma a uma, antes de liberá-las para serem transportadas para os suportes das gaiolas, sendo que cada posição é distinta, e uma vez transportada todas as gaiolas, as mesmas são posicionadas nos suportes das gaiolas nas respectivas posições ao longo do laminador, que inicia-se no suporte da gaiola 1 até a base 15, onde serão inseridas nos respectivos suportes cardans.

Porém antes da inserção das novas gaiolas, as gaiolas usadas são retiradas uma a uma e transportadas para uma área determinada onde serão alocadas. Uma vez transportadas as gaiolas, os respectivos suportes cardans ficam liberados para receberem as novas gaiolas, então as mesmas são inseridas para os respectivos suportes cardans utilizando os troles hidráulicos com as operações assistidas pelos operadores. A outra entidade refere-se as navalhas tanto da tesoura SH1 e SH2 a entidade entra no sistema através estante de navalhas novas onde são previamente posicionadas para posterior montagem na troca de produto, quando laminador para o operador bloqueia as tesouras e desmontar as respectivas navalhas usadas tanto da SH1 e a SH2 e com a ponte rolante içar e transportar as navalhas novas para posteriormente sejam montadas.



Figura 1 – IDEF-SIM Processo de Troca das Gaiolas do Laminador

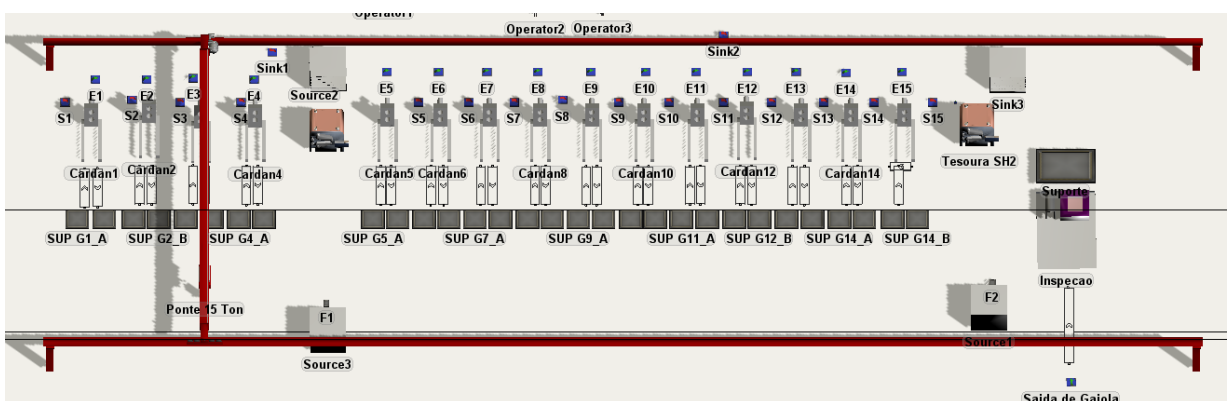


Fonte: Empresa siderúrgica objeto deste estudo

No modelo conceitual elaborado a partir do processo, será analisado, a movimentação das gaiolas entre saída da oficina de montagem até os suportes das gaiolas no galpão da laminação e montagem de desmontagem de navalhas nas tesouras SH1 e SH2, com uso da ponte rolante e as intervenções operacionais: ajustes e inspeções com os respectivos operadores.

Com modelo conceitual finalizado e aprovado, então foi possível elaborar o modelo computacional, utilizando o software Flexsim 2017 (ver Figura 3), de forma a possibilitar a análise do processo atual tanto das trocas das gaiolas e navalhas.

Figura 3 – Modelo Computacional do Troca de gaiolas do Laminador atual



Fonte: Empresa siderúrgica, objeto deste estudo.

É importante ressaltar que o modelo computacional foi verificado e validado junto ao especialista. Numa primeira análise constatou-se através do relatório gerado pela simulação do cenário atual, compilados na Tabela 4, que tanto os operadores alocados e a ponte rolante 15 Ton, operam no limite de sua capacidade, causando impacto nos tempos das trocas das gaiolas e navalhas, impossibilitando alcançar o tempo adequado, visto que este desvio, se dá em razão da escassez de recursos alocados, que impendem a realização das atividades das trocas das gaiolas e navalhas em paralelo, impossibilitando a redução do tempo total das trocas.

Tabela 4 – Taxa de Utilização de Recursos

Item	% Utilização
Operador 1	126
Operador 2	112,5
Operador 3	96,55
Ponte Rolante 15 ton	92,31

Fonte: Software FLESIM 2017.

Nas observações realizadas no cenário atual, destaca-se a questão do layout que se refere ao ponto de expedição das gaiolas para laminador. No processo analisado existe somente um ponto de expedição entre os galpões, isso impacta no tempo total, pois a distância de deslocamento para que a ponte rolante translade as gaiolas são consideráveis, a outra observação é o local para armazenamento das gaiolas usadas, conforme o demonstrado no modelo atual, existe somente um local destinado que é próximo da tesoura SH2, pois essa movimentação se torna desnecessária considerando que as gaiolas estão alocadas no desbaste.

## 6 Coleta e Análise de Dados de Chegadas

As informações dos dados de chegadas das entidades e tempos, foram coletados junto ao especialista responsável da coordenação das trocas das gaiolas e navalhas na laminação. É importante ressaltar que o objetivo verificar somente o tempo referente as atividades internas, ou seja, o tempo total das operações realizadas quando o laminador está parado para as trocas. Então para este caso foi considerando os intervalos de chegadas das entidades em unidade de tempo constante, visto que todas as gaiolas são previamente montadas e liberadas e aguardam para serem transladadas para o laminador.

## 7 Análise de Melhorias no Projeto de Simulação

A construção da nova proposta do modelo utilizando software Flexsim 2017, possibilitou construir as etapas do processo das trocas das gaiolas no laminador, uma vez

finalizado modelo do processo das troca das gaiolas do desbaste, tesoura SH1 e posteriormente, do trem médio e acabador e da tesoura SH2, foi possível testar inúmeros cenários, conforme demonstrados na Tabela 5 e 6, sendo que algumas condições foram previamente definidas:

- **1ª Condição Operacional:** Dispor de uma ponte rolante para atender a área do desbaste até tesoura SH2, e um ponto de expedição das gaiolas para transferência das mesmas do galpão da montagem para o galpão da laminação localizada próximo a tesoura SH2.
- **2ª Condição Operacional:** Dispor de uma ponte rolante para atender a área do desbaste até tesoura SH2, e dois pontos de expedições de gaiolas para transferência das gaiolas do galpão da montagem para o galpão da laminação, uma localizada próximo a área do desbaste e outra localizada próximo a tesoura SH2.
- **3ª Condição Operacional:** Dispor de duas pontes rolantes para o atendimento e traslado das gaiolas e navalhas, sendo uma para atender a área do desbaste e SH1 e a outra para atender o trem médio, acabador e tesoura SH2 e dois pontos de expedições para transferência das gaiolas do galpão da montagem para o galpão da laminação, sendo uma localizada próximo a área do desbaste e outra localizada próximo a tesoura SH2.

Tabela 5 – Cenário da 1ª Condição Operacional

Cenários	Nº Operadores	Nº Ponte	Nº Exp. Gaiolas	Tempo de Troca de gaiolas
1	3	1	1	179,42
2	4	1	1	116,87
3	5	1	1	104,31
4	6	1	1	88,68
5	7	1	1	80,13
6	8	1	1	79,8
7	9	1	1	77,27
8	10	1	1	78,46
9	11	1	1	76,86

Fonte: Software FLESIM 2017.

A Tabela 5 demonstra nove possíveis cenários simulados, que se observa que mesmo tendo um acréscimo do efetivo de mão de obra, há um impacto na redução do tempo de total das trocas das gaiolas, porém não o esperado, considerando o contingenciamento dos recursos.

Ao observar-se a Tabela 6, onde considera-se a segunda condição operacional, uma ponte e dois pontos de expedições de gaiolas, constatamos que nesta condição o cenário 7 teve uma redução considerável no tempo total das trocas das gaiolas e navalhas, totalizando 51,71 minutos com os seguintes recursos alocados: nove operadores distribuindo ao longo do laminador, uma ponte rolante de 15 Ton para traslado das gaiolas e navalhas e duas saídas

dois pontos de expedição que possibilitam distâncias mais curtas, constatando a redução de 71,18% no tempo total das trocas das gaiolas no modelo proposto.

Entretanto a Tabela 6 na terceira condição operacional proposta, que constituída com duas pontes e dois pontos de expedições. Nesta condição o melhor cenário apresentado é o 6 que tem alocado oito operadores, com duas pontes rolantes para realização das trocas das gaiolas e navalhas. Constata-se que neste cenário o tempo das trocas das gaiolas e navalhas ficam com 52,25 mim, porém vale ressaltar que neste cenário estamos utilizando duas pontes rolantes de 15 Ton e 12 Ton e oito operadores, neste caso os recursos em disponibilidade não conseguiram alavancar a redução dos tempos das trocas das gaiolas e navalhas.

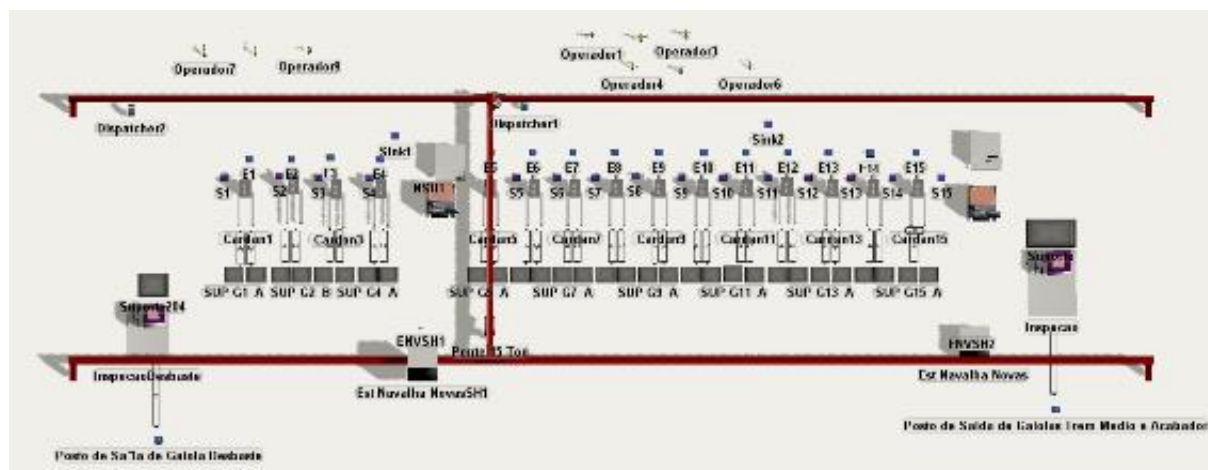
Tabela 6 – 2ª e 3ª Condição Operacional

Cenários	Nº Operadores	2ª Condição Operacional			3ª Condição Operacional		
		Num de Ponte	Nº Exp. Gaiolas	Tempo das Trocas de gaiolas (mim)	Num de Ponte	Nº Exp. Gaiolas	Tempo das Trocas de gaiolas (mim)
1	3	1	2	106,03	2	2	108,14
2	4	1	2	83,75	2	2	81,26
3	5	1	2	69,5	2	2	68,87
4	6	1	2	60,2	2	2	61,26
5	7	1	2	53,2	2	2	52,95
6	8	1	2	52,75	2	2	52,25
7	9	1	2	51,71	2	2	63,82
8	10	1	2	66,79	2	2	59,67
9	11	1	2	59,8	2	2	59,68

Fonte-FLESIM 2017

O modelo simulado na 2ª condição operacional (cenário 7) conforme Figura 4, apresentou o melhor resultado, logo sendo encaminhado para validação do especialista

Figura 4 – Nova Proposta de Ações para as trocas das gaiolas Laminador



Fonte: Software FLESIM 2017

## 8 Resultados Conclusões

Na proposta de melhoria das trocas das gaiolas e navalhas que resultou no menor tempo das trocas das gaiolas, teve como ações determinantes:

- Dividir o laminador em dois blocos, sendo o primeiro bloco referentes as gaiolas do desbaste e da tesoura SH1 e segundo bloco as gaiolas do trem médio e acabador e tesoura SH2.
- Equipes dedicadas para realizações das atividades em cada setor definido.
- Inserção de mais um ponto de expedição da gaiola, sendo próxima ao desbaste para reduzir o trajeto percorrido entre o ponto de inspeção e os suportes de gaiola.
- Possibilitar que os operadores responsáveis pela as trocas das gaiolas e navalhas do desbaste, quando finalizadas as suas atividades, possam auxiliar no término das trocas das gaiolas e navalhas do trem médio e acabador.

Com as ações propostas para as trocas das gaiolas do laminador utilizando modelo de simulação computacional, obtivemos resultado expressivo que validam as ações propostas. Afim de quantificar o retorno das ações propostas, elaboramos a memória de cálculo com os possíveis ganhos conforme demonstrado na Tabela 7. Caso o cenário proposto seja implementado no literalmente na laminação, vale ressaltar que somente estamos observamos o cálculo considerando as perdas relativas aos tempos referentes as trocas das gaiolas por produto, as demais perdas não estão sendo considerada neste cálculo. Entretanto sabemos que caso implementadas as ações os impactos certamente ocorrerão em toda cadeia produtiva.

Tabela 7 – Calculo de ganho da troca de gaiolas de Produto

	Perda		Ganho	
<b>12 meses</b>	horas	214,5	horas	152,7
<b>Produção horária</b>	Ton/hora	35	Ton/hora	35
<b>Produção em 12 meses</b>	ton	7507,5	ton	5343,8385
<b>Mcu/Ton x Prod</b>	US\$	100,00	US\$	100,00
<b>Total US\$</b>	US\$	750.750,00	US\$	534.383,85
<b>Cotação do Dolar</b>	R\$	3,76	R\$	3,76
<b>Valor total</b>	R\$	2.822.820,00	R\$	2.009.283,28
<b>Média mensal (hs)</b>	horas	17,88	horas	16,965

Fonte: Software FLESIM 2017

Na Tabela 7 observa-se alguns pontos que devem ser destacado nesta memória de cálculo, obviamente o mais significativo são os ganhos em horas mensais podem chegar a 16 horas mensalmente que representa mais 593,76 ton produzidas a mais, esta redução representa

o ganho de R\$ 2.009,283,28 anualizado, sendo que este cálculo conforme descrito acima somente foca nas trocas das gaiolas por produto.

Conclui-se que a simulação de eventos discretos se revelou uma ferramenta interessante para simular variados cenários no processo de análise das trocas das gaiolas e navalhas, além de contribuir como uma ótima ferramenta de auxílio na tomada de decisão, pois juntamente com a simulação computacional enriquece muito o projeto, além de possibilitar as realizações diversos experimentos no modelo sem custos.

Destaca-se por fim, que na fase de implementação do modelo foi proposto ações que a princípio pareceu-se satisfatória, porém não mostrou-se assertiva no momento que foi realizado a simulação do modelo, para supressa o tempo das trocas das gaiolas não se alterou, e ainda teve um acréscimo insignificante do tempo, o que permitiu observar que nem sempre aumentar o recurso pode ser a solução mais assertiva, pois os recursos se anulam e não possibilitam alavancar os ganhos, talvez seja mais assertivo esgotar todas a possibilidades, utilizando as variáveis disponíveis, tentando reorganizar, redistribuir ou até mesmo reduzir. Obviamente esta visão só foi possível devido ao uso da simulação de eventos discretos juntamente com o auxílio da modelagem computacional utilizando o software Flexsim 2017, que possibilita todas essas interações de cenários e análises.

## **Referências bibliográficas**

CHWIF, LEONARDO & MEDINA, AFONSO C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos**. 4a ed. São Paulo: ed. Elsevier Ltda. 2015.

DUARTE, ROBERTO N. Simulação Computacional: **Análise de uma célula de manufatura em lotes do setor de autopeças**. Dissertação de mestrado em Engenharia de Produção. UNIFEI, Itajubá, MG, 2003.

HARMON, R. L.; PETERSON, L. D. Reinventando a fábrica: conceitos modernos de produtividade aplicados na prática. Rio de Janeiro: Campus, 1991.

GARCIA, L. C., OLIVEIRA, M. J. F. **Aplicando a teoria da simulação a eventos discretos no serviço de atendimento móvel de urgência** ( SAMU-192). In: XXXVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2005, Gramado.

KRAJEWSKI, L.; RITZMAN, L.; MALHOTRA, M. **Administração de Produção e Operações**. 8ª Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

MARCOUSÉ, I.; SURRIDGE, M.; GILLESPIE, A. **Gestão de Operações**. São Paulo: Saraiva, 2013.

PEGDEN, C. D., SHANNON, R. E., SADOWSKI, R. P. **Introduction to simulation using SIMAN**. 2.ed. McGraw-Hill, New York, 1995.

PRADO, DARCI SANTOS DO. **Usando Arena em simulação**. Vol.3, p18-19, 2003.

ROMERO, C. M.; SALES, D. S.; VILAÇA, L. L.; CHAVEZ, J. R. A.; CORTES, J. M. Aplicação da teoria das filas na maximização do fluxo de paletes em uma indústria química. Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento, v.2, n.3, p.226-231, 2010.

SHANNON R. E., Introduction to the art and science of simulation. Proceedings os the Winters Simulation Conference, 1998.